



研究室紹介

大阪大学産業科学研究所 電子材料部門

権田 俊一*

1. はじめに

本部門は、産研創立の5年後の1944年に、極超短波第二部門として発足し、三戸左内教授がこの部門を担当した。次に鉄道技術研究所から赴任した石黒政一教授が、1963年に部門名を電子材料と改めた。この時代は電子材料といってもイオン結晶の研究が主であった。退官後、部門検討の結果、半導体の研究に重点を置くことが決まり、1984年に電子技術総合研究所から権田俊一（筆者）が教授として赴任した。現在の他の構成員は朝日一助教授、浅見久美子助手、江村修一助手、白井光雲教務技官で、大学院学生等を含めて総勢12名程度の陣容である。

本部門は、広くいえば電子技術に必要な材料の研究を行う部門であるが、現在の研究の中心は半導体の結晶成長、プロセス、物性等である。また産業科学研究所で推進している特定研究「知的材料設計と新素材の創出」の幹事研究室でもあり、材料設計に関する検討も行なうと同時に、他部門との共同研究や、情報交換にも力をそいでいる。教育面では大学院工学研究科の電磁エネルギー専攻に属し、同専攻の研究範囲に入るエネルギー材料の研究やプラズマを用いたプロセスの研究を行なっている。

2. 電子材料研究と設計

必要とする機能、性能をもつ材料をつくることは、錬金術の歴史をひもとくまでもなく、人類の昔からの夢である。材料研究の流れは、図1に示すように、“もの”をつくり、加工し、その性質の根源を考察し、それに立脚して次の

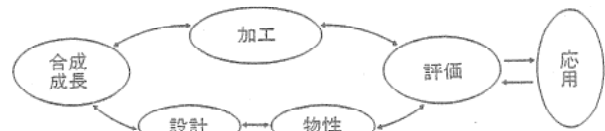


図1 電子材料研究の流れ

“もの”を設計し、また“もの”をつくることである。従って電子材料の研究は、設計、作製加工プロセス、材料評価物性の三つを並行して進める必要がある。

電子材料設計の研究としてはⅢV族半導体を中心に行っている。半導体の設計に関係するパラメータは、構造に関しては格子定数、電子的性質には電子構造(禁制帯幅、有効質量など)光学的性質に関しては屈折率などである。これらのパラメータで所望の数値をもつ材料を得るには、いくつかの元素を混ぜあわせて混晶をつくり、その組成を変化させる方法と、二種類の極薄膜を交互に積み重ねたいわゆる超格子を用いる方法が考えられる。前者では元素の数が多し程、設計の自由度が増える。たとえば5元混晶では、3つのパラメータを独立に変えることができる。この観点から多元混晶の組成とパラメータの数値との関係を、実験的、理論的に明確にしている。

超格子では異種物質間の界面(ヘテロ界面)における帯端エネルギーの差(バンド不連続)が重要であるが、任意の二つの物質間のバンド不連続を知る方法はまだ確立していない。当部門では実験値と理論的な予測を併せ、もっともらしい数値を出す方法を案出した。これは一応の設計には使えるが、厳密ではなく、この問題は今後に残された課題である。

いずれの場合も必要なパラメータ数値を計算機に入力すれば、その数値をもつ組成が直ちに得られるようなシステムをつくっている。超格

*権田俊一 (Shunichi GONDA), 大阪大学産業科学研究所, 電子科学研究部電子材料部門, 教授, 工学博士, 電子材料

子の組成と井戸幅，障壁幅を与えた場合の量子準位の位置，一つまたは二つの層をトンネル効果で電子が通り抜ける確率などの計算なども行なえるようにしている。

3. 合成成長・加工プロセス

本部門で行なっている合成成長プロセスの主力は，ガスを用いた堆積成長プロセスである。一つは，超真空中で分子線を加熱した基板表面に供給し，原子をきちんと配列させて材料をつくるガスソース分子線結晶成長法(MBE)である。この方法のうちの一つは，GaなどⅢ族原子は固体から蒸発させて分子線をつくり，As, PなどⅤ族原子は AsH_3 , PH_3 のガスで供給する方法である。この方法で，基板に，たとえば，まずInを供給してIn層を一層堆積させ，次に PH_3 を供給してP層を一層堆積させ，これを電子線でモニタしながらInP結晶を成長させるということも可能になってきた。勿論ある厚さになったところで他の物質，たとえばInGaAsに切り換えることも可能である。InPとInGaAsの界面が，In-Asボンドで構成されている場合と，Ga-Pボンドで構成されている場合とで性質がどう違うかというような微細な構造差にもとづく特性の差の研究もできるようになりつつある。

また数十Å角のきわめて細い線状構造(量子細線)をつくると，中を走る電子の移動度が飛躍的に増大する可能性があるので，表面が(100)面より少しずれた方向になっている基板(一原子層ずつステップをもつ基板)を用いて細線構造をつくる研究も進めている。

もう一つのMBE法の研究は，原料ガスとして有機金属(MO)ガスを用いるMOMBEの研究である。超高真空中にMOガスを入れるこの成長法では，圧力の高いMOCVDの場合と成長機構が異なっており，基板表面でのMOガスの分解が全体の成長を支配している。GaAs, GaSb, AlSb, InAsなどの成長の研究を行なっているが，基板表面にⅤ族原子が過剰に存在する場合は，これが $TEGa((C_2H_5)_3Ga)$ の $DEGa((C_2H_5)_2Ga)$ への分解を妨げるなど，成長機構に関する新しい知見を得ている。

研究しているもう一つの堆積法は，電子サイクロトロン共鳴(ECR)プラズマCVD法である。この手法は比較的新しいものなので，プローブ法などを用いて電子・イオン温度，電子・イオン密度などプラズマの状態を調べ，プラズマ物理的な考察を進めている。膜形成の対象としてはエネルギー材料としての観点から，アモルファスのボロン系材料をとりあげ，基板バイアス法なども併用して原子間結合を制御する試みも行っている。

前述の方法は，原子を積みあげて材料をつくるもので，堆積方向の組成制御は一原子層の精度で可能である。材料内に微細な構造をつくりこむためには，ほかに面内での組成あるいは特性の制御が必要である。これに関しては当部門では簡単なフォトリソグラフィのほか，イオンを用いる方法の研究を行なっている。たとえばInP/InGaAs超格子にGaイオンを注入し，熱処理して組成分布の変化を生じさせる。SIMS, AES, ラマン分光法などを用いて，Ⅲ族原子Ⅴ族原子の動き方などを明らかにしてきた。また $0.1\mu m$ 程度の集束できるイオンビームをInPなどの材料に入射し，その領域に電気抵抗の高い細線部を構成する試みなどを行なっている。

今後の半導体プロセスの一つの方向は，超高真空中で種々のプロセスを続けて行なうことになると考えている。そこで，「分子線材料合成・加工評価一貫装置」を現在，構築中である。ここに含まれるプロセスは，分子線結晶成長，集束イオンビーム，エッチング，走査トンネル顕微鏡(STM)などである。

4. 評価と物性

材料の構造や特性を評価することは，作製加工プロセスにフィードバックする上でも必要であり，物性を明らかにしてその理論的根拠を明らかにすることは，物理的興味や応用への展開という点ばかりでなく，材料設計の基盤を強固にするという点でも重要と考えている。

バルクの多元系混晶についてはAlGaInPAsという5元混晶をとりあげ，フォトルミネセンス，エレクトロリフレクタンス，ラマン分光などにより，組成と電子構造，フォノン構造

の関係などを明らかにした。

超格子については、ⅢV族材料を用いた超格子の研究のほか、Si/Ge極薄膜超格子(Si, n原子層, Ge, m原子層を交互に堆積したもの)の電子構造をエレクトロリフレクタンスを用いて調べた。この材料は、間接遷移型で発光しにくいSiとGeを、超格子にすることで発光し易くできるかも知れないという点で興味をもたれている系であり、電子構造の設計という点でも関心をもたれている。

5. おわりに

当部門は、現在の顔ぶれになってから5年程である。研究のフェイズは、初期は入手できる試料を使っての物性の研究、現在は合成成長加工プロセスの研究の強化中で、必要なものがあ

る程度つくれるようになりつつある段階である。次は作製技術を駆使して、必要とする構造をつくり、物性を明らかにしつつ、応用への展開をはかりたいと考えている。目標としては極微的な構造を材料につくりこんだ量子細線や量子箱の研究、極微光・電子素子およびエネルギー素子の基礎の研究ということになる。

研究室の雰囲気は、研究室が若いということもあってフレッシュである。朝日助教授がジョギングに熱心なので、学生達も一緒に走っている。研究室でスキーに行ったり、テニスもさかんである。運動は、頭の中をリフレッシュし、新たな活力とアイデアを生むと考えているので、筆者自身も率先して行い、学生にもすすめている。よく研究し、よく遊ぶ研究室がいいのではないかと思っている。

